

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОНТОЛОГИЯ.....	7
1.1 Цель и задачи практической работы	7
1.2 Постановка задачи.....	7
1.3 Проектирование базы знаний.....	8
1.4 Разработка базы знаний в инструменте Protege	9
1.5 Разработка базы знаний в кодовом виде	13
1.6 Результат работы	14
2 МЕТОД ОТЖИГА	15
2.1 Цель и задачи практической работы	15
2.2 Постановка задачи.....	15
2.3 Ручной расчёт	16
2.4 Результат работы метода отжига.....	17
2.5 Решение задачи Коммивояжера	18
2.6 Результат работы нахождения минимума	19
3 РОЕВОЙ АЛГОРИТМ	20
3.1 Цель и задачи практической работы	20
3.2 Постановка задачи.....	20
3.3 Ручной расчёт	21
3.4 Результат работы метода отжига.....	22
3.5 Результат работы нахождения минимума	23
4 МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ.....	24
4.1 Цель и задачи практической работы	24

4.2 Постановка задачи.....	24
4.3 Ручной расчёт	24
4.4 Результат работы	27
4.5 Результат работы нахождения кратчайшего пути	27
5 ПЧЕЛИНЫЙ АЛГОРИТМ	29
5.1 Цель и задачи практической работы	29
5.2 Постановка задачи.....	29
5.3 Ручной расчёт	30
5.4 Результат работы	30
5.5 Результат работы нахождения минимума	31
6 АЛГОРИТМ ОБЕЗЬЯН.....	32
6.1 Цель и задачи практической работы	32
6.2 Постановка задачи.....	32
6.3 Ручной расчёт	33
6.4 Результат работы	35
6.5 Результат работы нахождения минимума	36
7 ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ	37
7.1 Цель и задачи практической работы	37
7.2 Постановка задачи.....	37
7.3 Ручной расчёт	38
7.4 Результат работы генетического алгоритма.....	40
7.5 Результат работы нахождения минимума	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
СПИСОК ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ	43
ПРИЛОЖЕНИЕ	44

ВВЕДЕНИЕ

Системный анализ данных в системах поддержки принятия решений представляет собой область знаний, изучающую методы структурирования, обработки и интерпретации информации для повышения качества выбора в условиях неопределённости. В рамках курса рассматриваются основы онтологического моделирования, позволяющего формализовать знания предметной области и обеспечить единое понимание данных различными участниками и системами. Особое внимание уделяется изучению современных эвристических методов оптимизации, которые имитируют процессы, наблюдаемые в природе, и позволяют эффективно решать сложные вычислительные задачи. Метод отжига основан на физической аналогии охлаждения металлов и используется для поиска глобального минимума в пространствах с большим количеством локальных экстремумов. Роевые алгоритмы воспроизводят коллективное поведение децентрализованных систем и направлены на достижение оптимума через взаимодействие большого количества простых агентов. Муравьиный алгоритм имитирует поведение муравьёв при поиске кратчайших путей и демонстрирует способность находить эффективные решения за счёт накопления феромонной информации. Пчелиный алгоритм вдохновлён стратегиями поиска нектара в пчелиных колониях и сочетает разведку новых областей с усилением перспективных направлений. Изучение этих подходов формирует у студента фундаментальное понимание интеллектуальных методов анализа данных и позволяет применять полученные знания для разработки систем поддержки принятия решений. Данные методы рассматриваются на примере нахождения минимума выбранной функции и задачи Коммивояжёра.

1 ОНТОЛОГИЯ

Онтология — это формальное представление знаний о предметной области, включающее объекты, их свойства и отношения между ними.

1.1 Цель и задачи практической работы

Цель работы заключается в формировании умений по применению методов системного анализа данных при проектировании базы знаний для заданной предметной области.

Задачи работы включают:

1. Определить предметную область, для которой будет разрабатываться база знаний;
2. Определение состава объектов, их свойств и взаимосвязей;
3. Построение концептуальной модели базы знаний;
4. Формирование связей различных видов между объектами;
5. Перенос базы знаний в инструмент Protege;
6. Перенос базы знаний в кодовый формат.

1.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо выбрать предметную область и выполнить её формализацию в виде базы знаний. Для этого требуется определить множество объектов и их атрибутов, выделить связи между объектами. На основе полученных данных следует построить концептуальную модель базы знаний и спроектировать её структуру, обеспечивающую возможность дальнейшего применения для решения задач системного анализа.

Построить данную модель в инструменте Protege и программном виде на языке Python.

1.3 Проектирование базы знаний

В рамках практической части работы была выбрана предметная область — психиатрическая больница, объектом исследования является работа медицинского учреждения включающая как структуру организации, которая является главным, абстрактным классом. Для данной области выполнено построение базы знаний, отражающей структуру управления, штат сотрудников и используемые помещения.

Основными классами базы знаний являются:

- Руководство;
- Сотрудники;
- Помещения.

Каждый объект обладает набором характеристик, включая ФИО, подчинённых и подчинение, что позволяет формализовать как вертикальные связи управления, так и горизонтальные взаимосвязи между элементами системы.

Построенная иерархическая схема отражает организационную структуру психиатрической больницы: от руководства к сотрудникам и помещениям (Рис.1), данная схема образует онтологию являющуюся предметом исследования, ведь является формализация знаний о структуре психиатрической больницы.

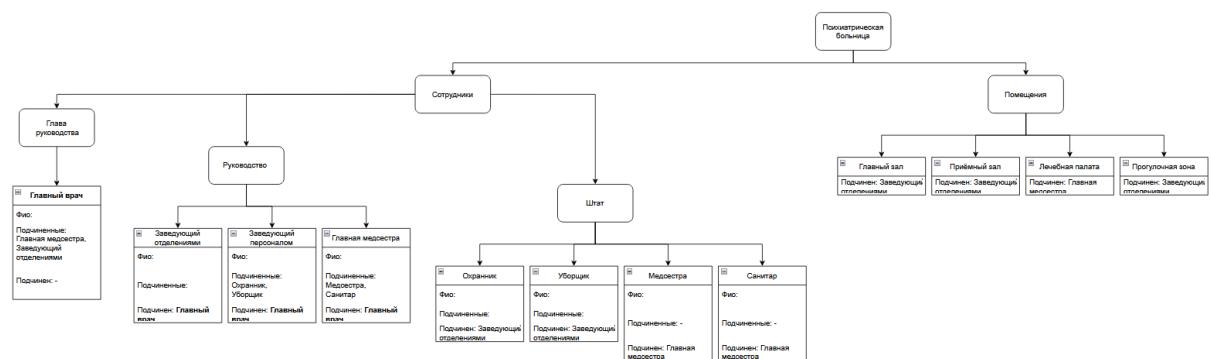


Рисунок 1 – Схема базы знаний

1.4 Разработка базы знаний в инструменте Protege

Перенесем построенную базу знаний в инструмент Protege. Для начала построим иерархию классов, отображающую общую структуру.

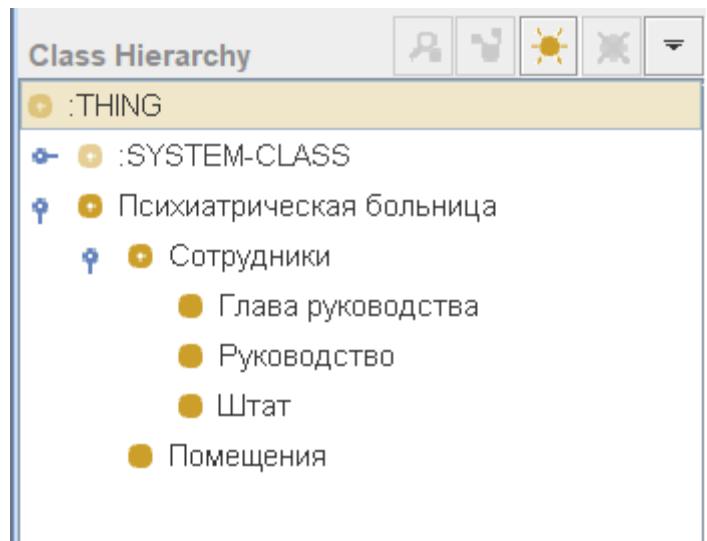


Рисунок 2 – Иерархия базы знаний

Также напишем поля, которые будут присвоены к определенным классам, дабы потом реализовать объекты этих классов.

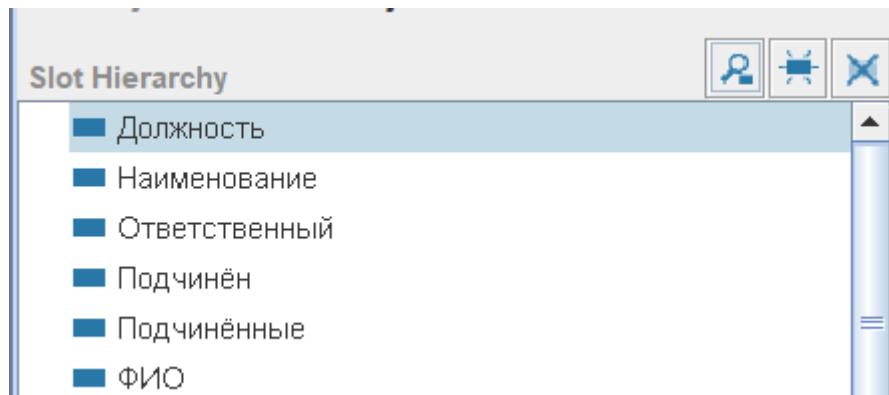


Рисунок 3 – Поля используемые в базе знаний

Создадим объекты всех классов данной базы знаний и заполним поля, дабы каждый объект был персонализирован.

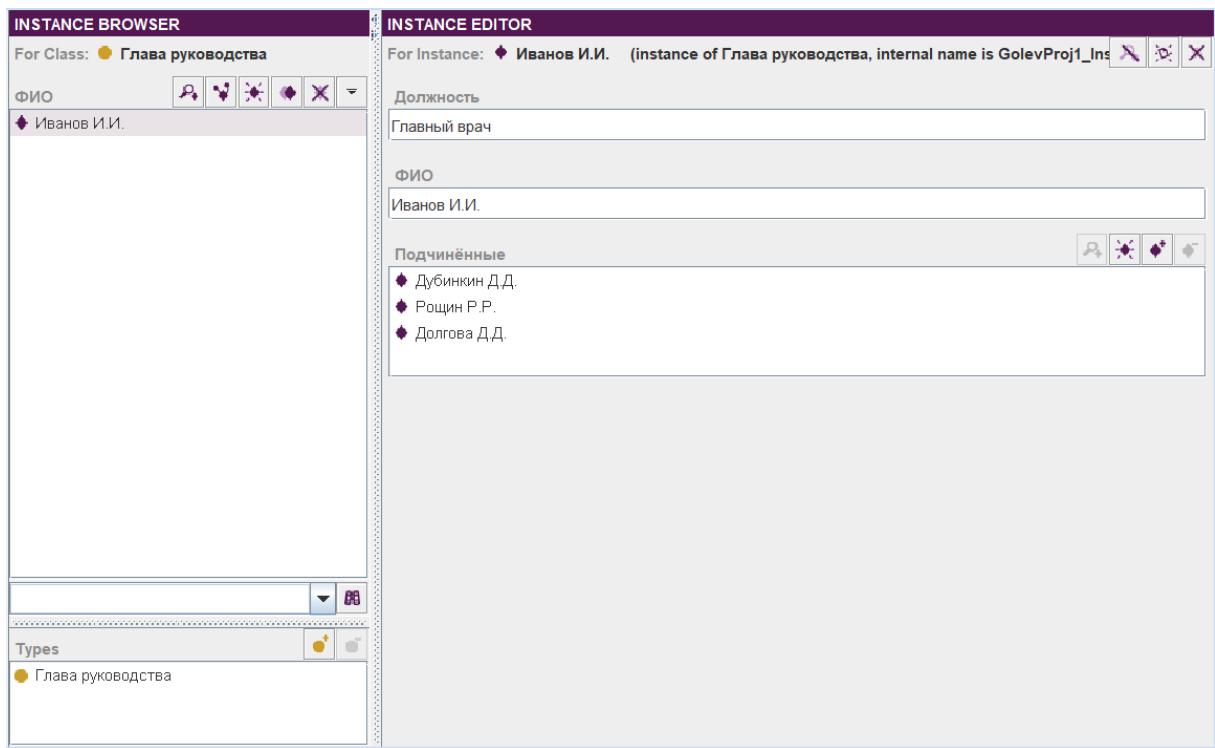


Рисунок 4 – Объект класса «Глава руководства »

Далее создадим объект класса Руководство.

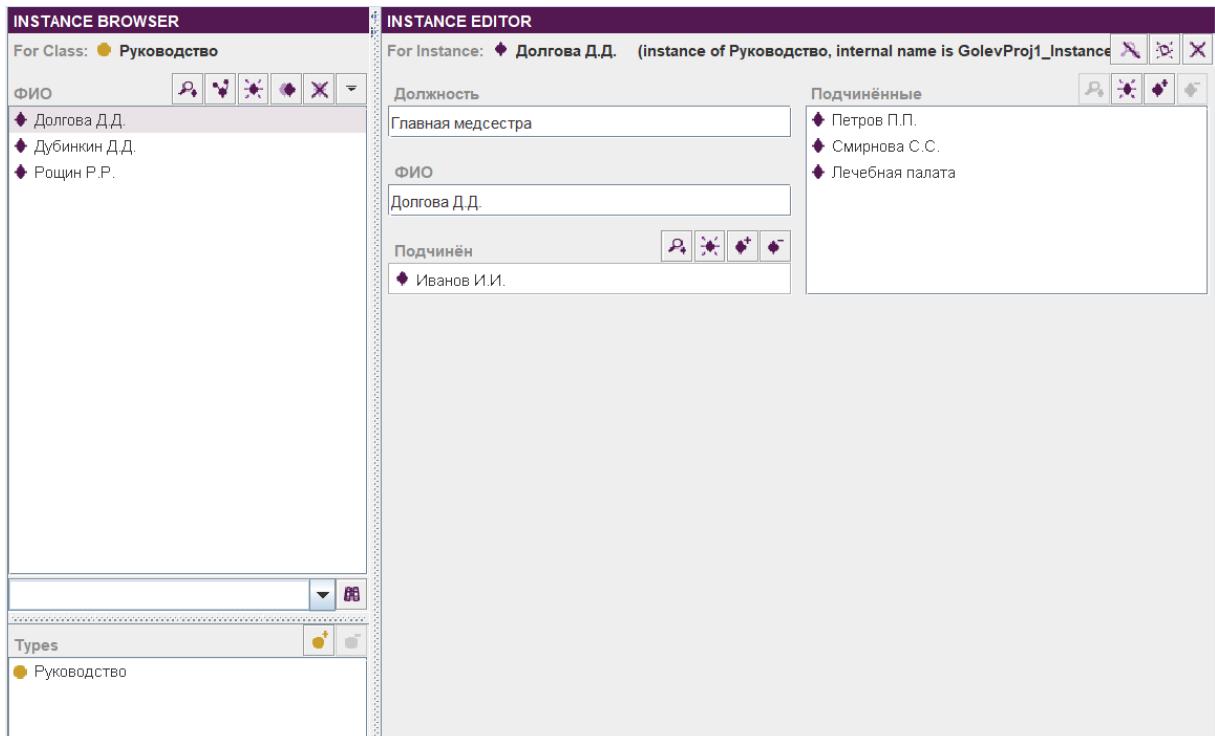


Рисунок 5 – Объекты класса “Руководство »

Далее создадим объект класса Штат.

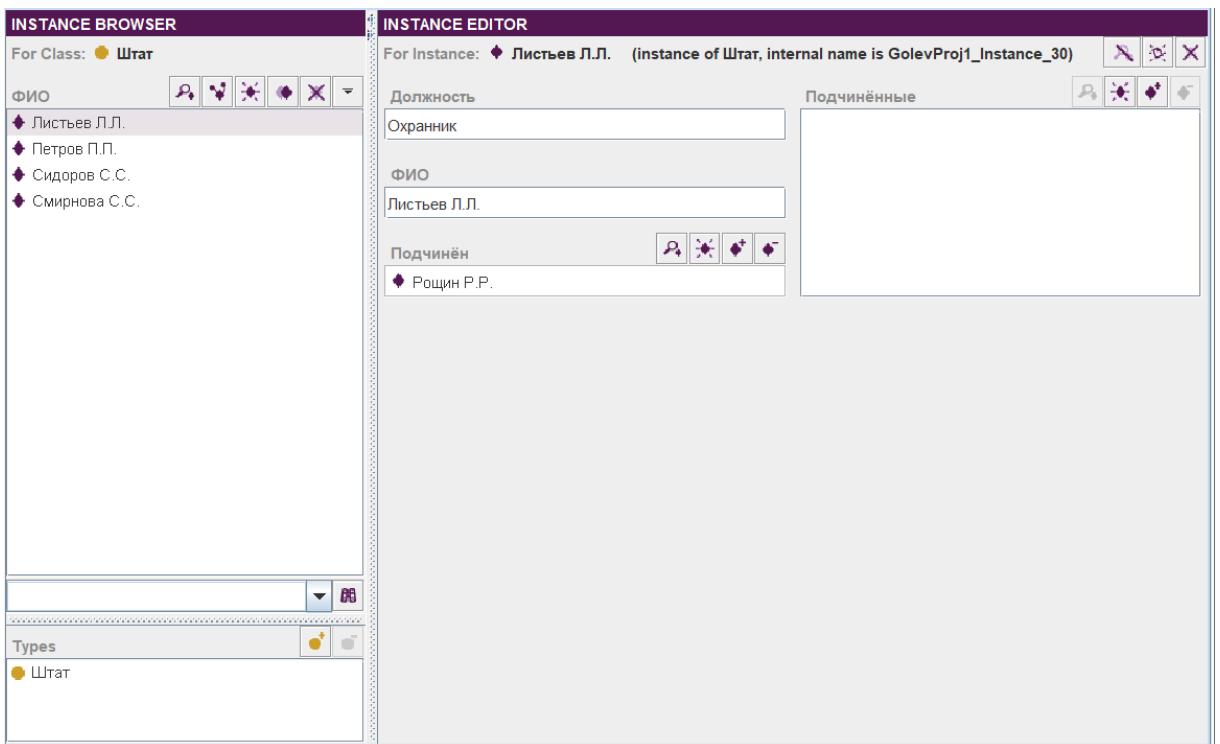


Рисунок 6 – Объекты класса «Штат»

Далее создадим объект класса Помещения.

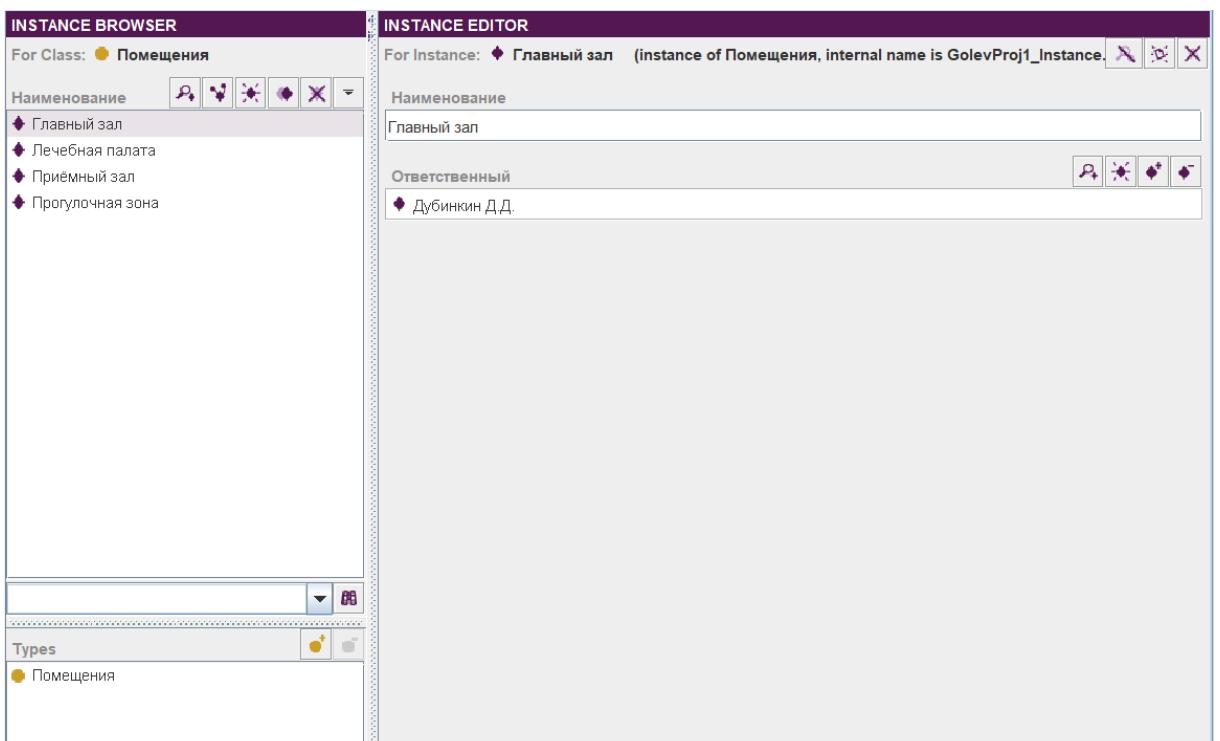


Рисунок 7 – Объекты класса «Помещения»

Напишем запросы, с помощью которых можно будет посмотреть связи между объектами различных классов, реализуем связи:

1. Один к одному;
2. Один ко многим;
3. Один к одному через рукопожатие;
4. Один ко многим через рукопожатие.
- 5.

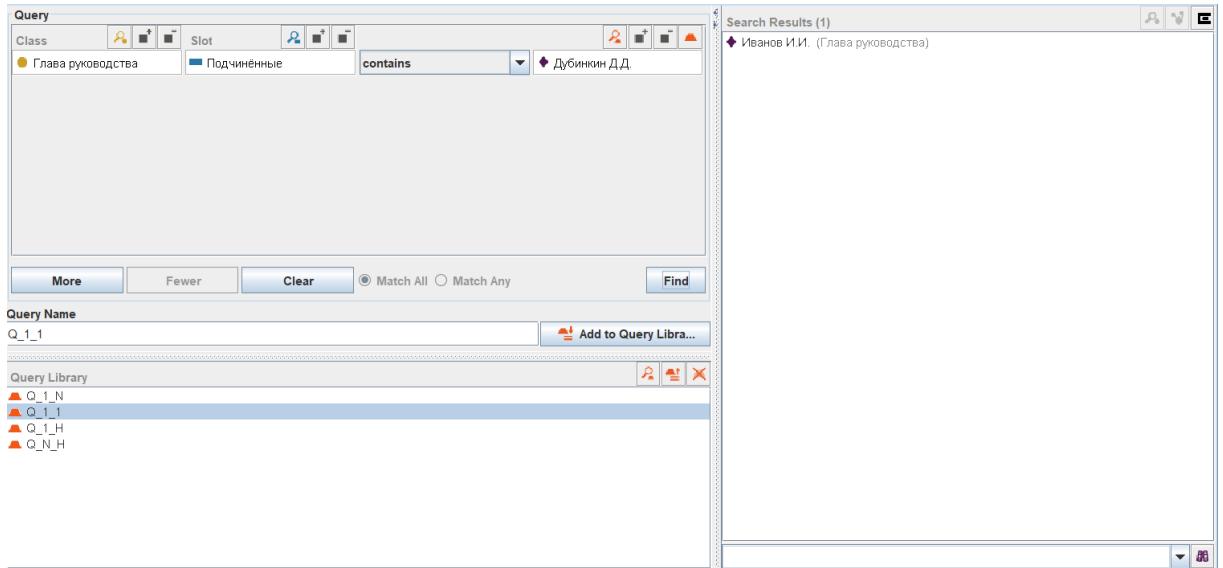


Рисунок 8 – Запрос один к одному

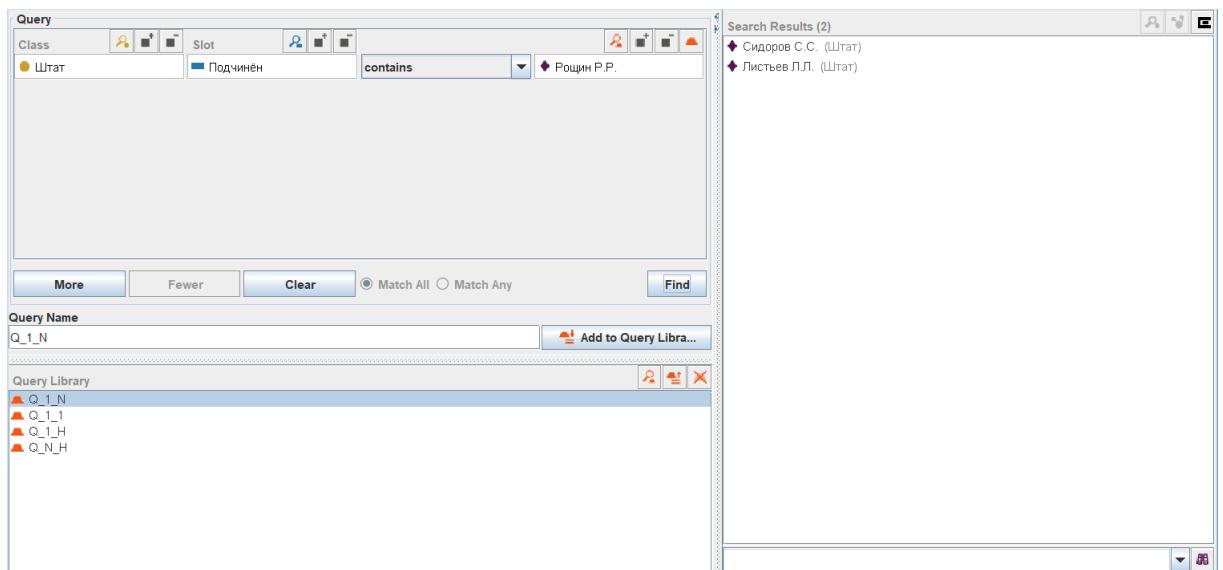


Рисунок 9 – Запрос один ко многим

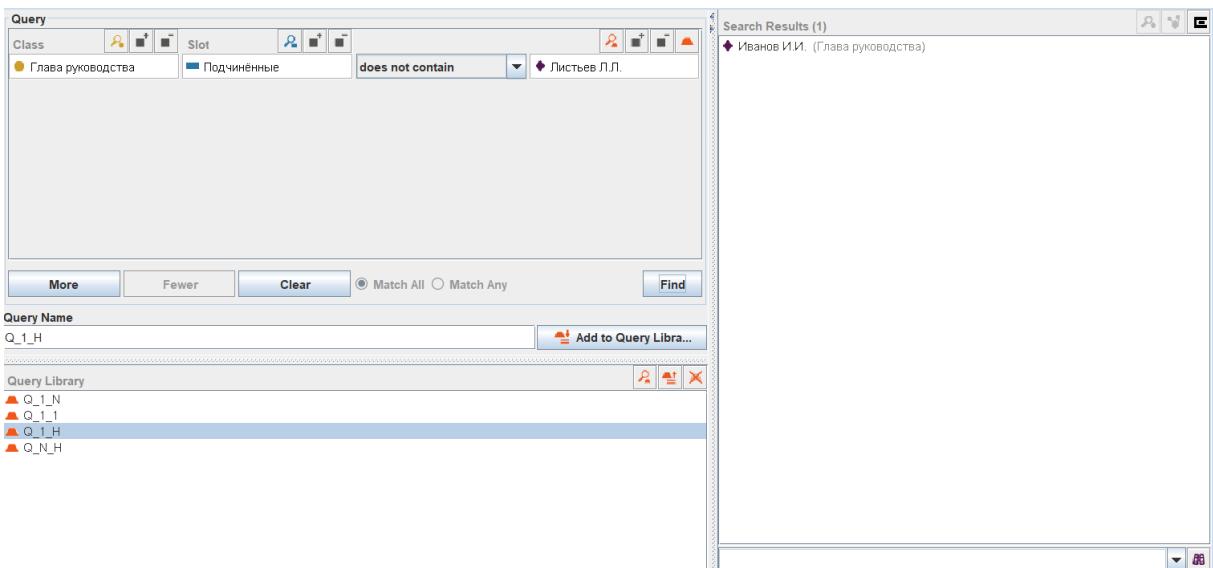


Рисунок 10 – Запрос один к одному через рукопожатие

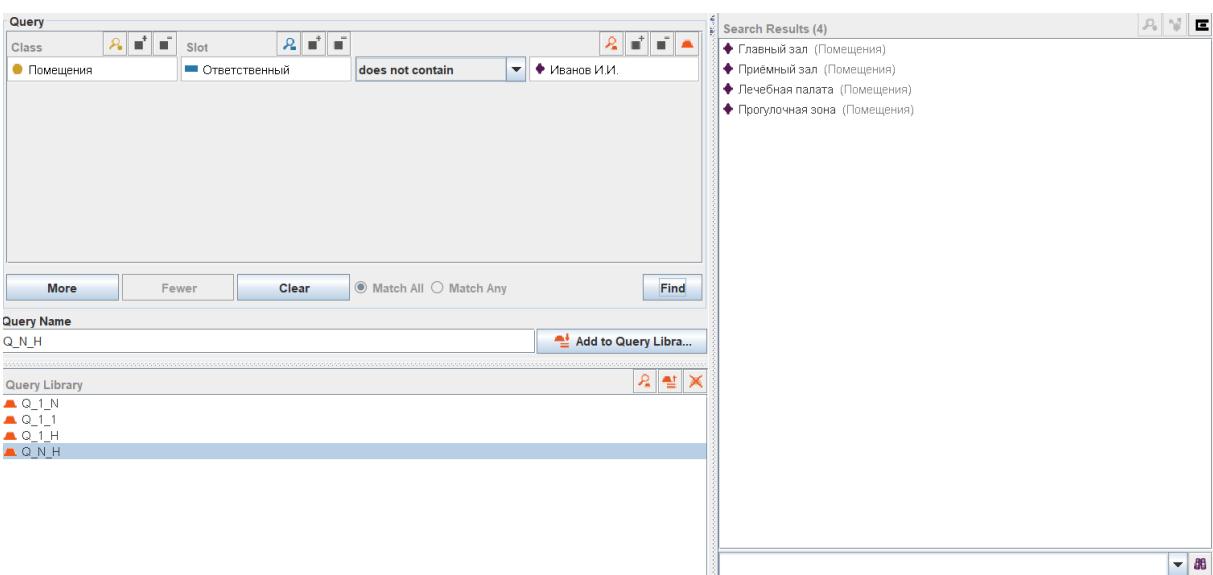


Рисунок 11 – Запрос один ко многим через рукопожатие

1.5 Разработка базы знаний в кодовом виде

Перенесем базу знаний в программный вид, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении А.

Проверим написанную базу знаний через запросы.

```
PS C:\Users\semen\Desktop\MIREA\System_data_analysis\Practice1> python main.py
Подчинённые Иванов И.И.(Главный врач):
    Долгова Д.Д. (главная медсестра)
    Дубинкин Д.Д. (Заведующий отделениями)
    Рошин Р.Р. (Заведующий персоналом)
Долгова Д.Д. подчинён Иванов И.И.(Главный врач)
Прогулочная зона управляет Дубинкин Д.Д.(Заведующий отделениями)
Прогулочная зона управляет Дубинкин Д.Д. (Заведующий отделениями) подчиняется Иванов И.И. (Главный врач)
Иванов И.И. (Главный врач) управляет Дубинкин Д.Д. (Заведующий отделениями) управляет Приёмный зал (Помещение)
```

Рисунок 12 – Пример выполнения запросов объектов программного кода

1.6 Результат работы

В ходе выполнения практической работы была реализована база знаний по предметной области «Психиатрическая больница».

1. Проектирование модели. На основе системного анализа построена иерархическая схема, включающая руководство, сотрудников и помещения учреждения, с отображением связей подчиненности;
2. Перенос в среду Protégé. База знаний была формализована с использованием онтологического редактора Protégé. В онтологии определены классы, экземпляры и отношения, что обеспечило структурированное представление информации о предметной области;
3. Реализация на языке Python. Построенная база знаний была дополнительно реализована кодово. В программе созданы структуры данных для хранения объектов и связей между ними, а также реализованы запросы, позволяющие получать сведения о подчинённых, руководителях и закрепленных помещениях;
4. Проверка работоспособности. Тестирование программы подтвердило корректность работы базы знаний: система успешно возвращала информацию об объектах и их отношениях, что соответствует построенной модели.

Таким образом, результатом работы стала разработанная и реализованная база знаний, представленная как в визуальной форме (схема), так и в цифровой (онтология в Protégé и программная реализация на Python).

2 МЕТОД ОТЖИГА

Метод отжига — это вероятностный алгоритм глобальной оптимизации, основанный на физическом процессе постепенного охлаждения материала до состояния минимальной энергии.

2.1 Цель и задачи практической работы

Целью практической работы является освоение метода отжига Коши и его применение для решения задач оптимизации различного типа. В рамках работы необходимо изучить принципы работы алгоритма, особенности распределения Коши и их влияние на процесс поиска минимума.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Реализовать алгоритм отжига Коши для нахождения минимума заданной функции;
2. Применить метод отжига Коши для решения задачи коммивояжёра;
3. Проанализировать влияние параметров алгоритма на качество и скорость сходимости;
4. Сравнить полученные результаты с классическим методом отжига;
5. Сделать выводы о применимости метода отжига Коши для задач непрерывной и комбинаторной оптимизации.

2.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо реализовать нахождение минимума функции с помощью метода Отжиг Коши, также метода Отжига необходимо реализовать решение задачи Коммивояжера.

Как тестовая функция была выбрана функция Била.

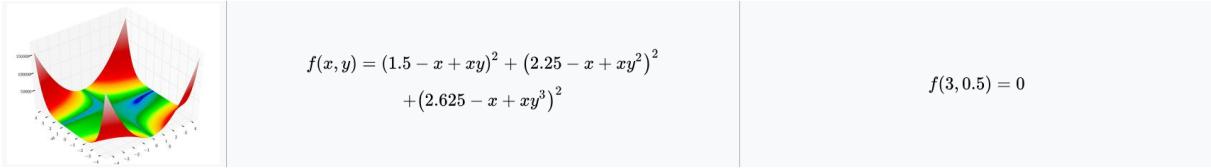


Рисунок 1 – Функция Била

2.3 Ручной расчёт

Выполним ручной расчёт одной итерации, для функции Била диапазон значений для x и y равен $[-4.5; 4.5]$. За максимальную температуру берём 1, за минимальную берём значение $1e^{-100}$.

Возьмем начальную точку: $x_b = 1.0$, $y_b = 1.0$;

Тогда значение функции $f(1,1) = 14.203125$.

Возьмём новую точку со случайными значениями.

Координаты новой точки: $x_i = 2.0$, $y_i = 0.5$;

Тогда значение функции $f(2,0.5) = 1.578125$.

Теперь необходимо сравнить значения, так как $f(1,1) > f(2,0.5)$, то к b значениям x и y мы присваиваем u значения, после чего меняем температуру по формуле Коши, то есть делим текущую температуру на номер итерации.

Если бы, оказалось что $f(1,1) < f(2,0.5)$, то смотрим вероятность $p = e^{-\Delta E/t}$, где ΔE разница между значений наших функций, а t , текущая температура, с этой вероятностью мы принимаем новые значения.

Если $f(1,1) < f(2,0.5)$ и вероятность p не прошла, мы не принимаем новые значения и начинаем новые итерации.

Также проведём ручной расчёт задачи Коммивояжера, для начала составим матрицу, которая будет отображать граф.

Таблица 1 – Табличное представление Гамильтонова графа

	a	b	c	d	e
a		1	4	5	5
b	1		5	1	3
c	4	5		5	3
d	5	1	5		2
e	5	3	3	2	

За начальную точку возьмем вершину а.

Для начала пройдем путем $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow a$, посчитаем длину данного пути, $1+5+5+2+5 = 18$, это путь первого пути, сохраним его.

По аналогии с методом отжига для функции, берём максимальную температуру 1, за минимальную берём значение $1e^{-100}$, но в этом случае температура будет меняться линейно, все время умножаясь константу.

Сделаем следующую итерацию $a \rightarrow c \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow d \rightarrow a$, посчитаем длину этого пути $4+3+3+1+5 = 16$, данный путь короче предыдущего, следовательно мы запоминаем этот путь как кратчайший путь.

Если бы, данный путь был больше, чем текущий, то с вероятностью $p = e^{-\Delta E/t}$, где ΔE разница между значений наших функций, а t , текущая температура, мы запоминаем наше значение, в противном случае переходим к следующей итерации.

2.4 Результат работы метода отжига

Реализуем нахождение минимума функции с помощью функции отжига, для примера реализованы два вида отжига, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении Б.

```
(venv) PS C:\Users\semen\Desktop\MIREA\System_data_analysis\Practice2> py .\otzhig.py
Эталон: f(3,0.5) = 0
Отжиг
3.935875915185397 0.6474627529874599
0.0727892065728463
Отжиг Коши
2.7181819354219057 0.41515581389134404
0.018313150368945187
```

Рисунок 2 – Пример нахождение минимума методом отжига

2.5 Решение задачи Коммивояжера

Реализуем решение задачи Коммивояжера с помощью метода отжига, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении Б1.

```
(venv) PS C:\Users\semen\Desktop\MIREA\System_data_analysis\Practice2> py .\gamGraph.py
1 -> 6 -> 3 -> 2 -> 5 -> 4 -> 1
Вес: 22
1 -> 5 -> 6 -> 3 -> 4 -> 2 -> 1
Вес: 15
1 -> 2 -> 6 -> 4 -> 5 -> 3 -> 1
Вес: 15
1 -> 3 -> 6 -> 4 -> 2 -> 5 -> 1
Вес: 16
1 -> 2 -> 3 -> 6 -> 5 -> 4 -> 1
Вес: 21
1 -> 6 -> 2 -> 3 -> 4 -> 5 -> 1
Вес: 17
1 -> 4 -> 2 -> 3 -> 6 -> 5 -> 1
Вес: 16
1 -> 5 -> 6 -> 2 -> 4 -> 3 -> 1
Вес: 14
1 -> 3 -> 5 -> 2 -> 4 -> 6 -> 1
Вес: 14
1 -> 6 -> 4 -> 5 -> 3 -> 2 -> 1
Вес: 11
1 -> 2 -> 6 -> 5 -> 3 -> 4 -> 1
Вес: 14
1 -> 2 -> 4 -> 5 -> 6 -> 3 -> 1
Вес: 17
1 -> 6 -> 4 -> 3 -> 2 -> 5 -> 1
Вес: 20
1 -> 2 -> 3 -> 4 -> 6 -> 5 -> 1
Вес: 19

Кратчайший путь:
1 -> 6 -> 4 -> 5 -> 3 -> 2 -> 1
Вес: 11
```

Рисунок 3 – Пример решения задачи Коммивояжера

2.6 Результат работы нахождения минимума

В ходе практической работы был выполнен ручной расчёт одной итерации метода отжига. Также ручной расчёт одной итерации задачи Коммивояжёра.

Данный расчёт наглядно показывает принцип работы метода: переход к новой точке осуществляется, если значение функции уменьшается, при этом возможен переход к худшей точке с определенной вероятностью.

Далее была выполнена кодовая реализация метода отжига и метода отжига Коши, которая позволила:

1. Автоматически находить минимум функции.
2. Решать задачу коммивояжера, минимизируя суммарное расстояние маршрута.
3. Сравнивать эффективность обычного отжига и отжига Коши, показывая, что модификация Коши обеспечивает более широкий поиск и снижает риск застревания в локальных минимумах.

В результате работы показано, что методы отжига являются эффективными инструментами как для задач непрерывной, так и для комбинаторной оптимизации.

3 РОЕВОЙ АЛГОРИТМ

Роевой алгоритм — это вычислительный метод оптимизации, основанный на коллективном поведении агентов, которые обмениваются информацией и совместно исследуют пространство решений.

3.1 Цель и задачи практической работы

Целью практической работы является изучение принципов роевого алгоритма и его применение для решения задач оптимизации. В рамках работы необходимо освоить механику обновления положения и скорости частиц, а также влияние обмена информацией между ними на поиск оптимального решения.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выполнить ручной расчёт одной итерации роевого алгоритма для заданной функции, определяя новые координаты частиц и значения функции;
2. Реализовать роевой алгоритм на языке Python для автоматического поиска минимума функции;
3. Применить алгоритм для решения задачи коммивояжёра и минимизации суммарного расстояния маршрута;
4. Проанализировать влияние параметров алгоритма (скорости, веса инерции, коэффициенты притяжения) на качество и скорость сходимости;
5. Сравнить эффективность результатов ручного расчёта и программной реализации, выявив преимущества алгоритма для задач оптимизации.

3.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо реализовать роевый алгоритм вручную и кодово, на примере нахождения минимум функции.

Как тестовая функция была выбрана функция Била.

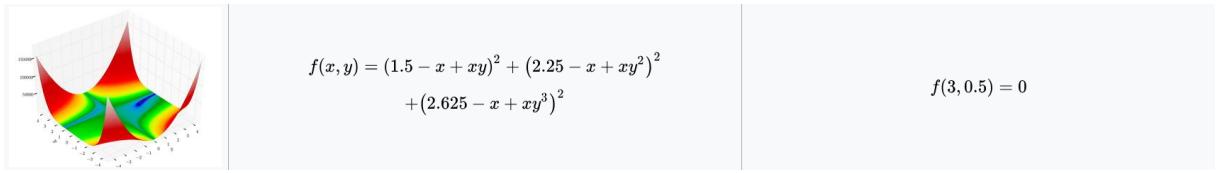


Рисунок 1 – Функция Била

3.3 Ручной расчёт

Выполним ручной расчёт одной итерации, для функции Била диапазон значений для x и y равен $[-4.5; 4.5]$.

Скорость будет рассчитываться по формуле 3.1.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 * r_1 * (y_{besti} - x_i) + c_2 * r_2 * (y_{best} - x_i) \quad (3.1)$$

Где y_{besti} лучшее значение данной точки, y_{best} лучшее значение точки всего роя. c_1 и c_2 константы, r_1 и r_2 случайные числа из диапазона $[0;1]$.

В нашем случае за константы с возьмём значение 2, а для констант r возьмём значение 0,3 и 0,7 соответственно.

Проинициализируем 4 единицы роя.

Таблица 3.1 – Начальные значения роя

	x	y	f(x,y)
1	-2.9	0.8	105.28
2	0.17	-3.16	25.56
3	-1.93	-3.29	5764.5
4	-4.02	-1.25	319.49

В данной таблице лучшее значение имеет элемент 2, следовательно y_{best} будет иметь значение 2-ого элемента.

Далее вычисляем скорость для каждой координаты частицы, после чего пересчитаем новые координаты точек.

Таблица 3.2 – Значения скорости роя и новые координаты точек

	V _x	V _y	x	y
1	4,30	-5,54	1,40	-4,44
2	0	0	0,17	-3,16
3	2,94	0,18	1,01	-3,11
4	5,87	-2,67	1,85	-3,92

Далее считаем значение функций, для новых координат, находим новый глобальный минимум и локальный минимум для каждой точки, после чего повторяем итерацию с вычислением скорости.

3.4 Результат работы метода отжига

Реализуем нахождение минимума функции с помощью роевого алгоритма, количество частиц: 5, количество итераций: 100, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении В.

```
(venv) PS C:\Users\semen\Desktop\MIREA\System_data_analysis\Practice3> py .\roi.py
==Начальные позиции роя==
x = -2.8118844235287472 y = 0.6503402048544427 f(x,y) = 42.911313269402704
x = -1.6323314149361305 y = -3.2379058136401273 f(x,y) = 3806.304456246304
x = 4.239373855721958 y = -1.2807597673281554 f(x,y) = 202.06812705028628
x = 0.5477258211238265 y = -2.967442193094229 f(x,y) = 192.73007708957925
x = -1.285295448870194 y = 2.40605701782626 f(x,y) = 211.13659044284802
(-2.8118844235287472, 0.6503402048544427, 42.911313269402704)

==Конечные позиции роя==
x = -0.6329231209511166 y = 0.9136962440648588 f(x,y) = 15.662055458007865
x = 1.2881768126020332 y = -0.7880469042762901 f(x,y) = 4.248279512323005
x = -1.4751303862013527 y = -0.5514361538969439 f(x,y) = 43.98978501660606
x = 3.4100334073391894 y = 3.179937439243254 f(x,y) = 13042.07709137118
x = -0.9585780146181655 y = 0.3023480747995798 f(x,y) = 27.096669324623512
(3.0641578414285267, 0.5145068757988449, 0.0006384524359516067)
```

Рисунок 2 – Пример выполнения роевого алгоритма

3.5 Результат работы нахождения минимума

В ходе практической работы была выполнена одна итерация ручного расчёта роевого алгоритма для двух частиц.

Данный расчёт демонстрирует работу роевого алгоритма: частицы корректируют свои скорости и позиции, ориентируясь на личный и глобальный опыт, постепенно приближаясь к оптимальному значению.

Далее была выполнена кодовая реализация роевого алгоритма, которая позволила:

1. Автоматически находить минимум функции в многомерном пространстве.
2. Применять алгоритм для решения задачи коммивояжёра, минимизируя суммарное расстояние маршрута.
3. Анализировать влияние параметров алгоритма (веса инерции, коэффициенты притяжения) на скорость сходимости и точность результата.

В результате работы показано, что роевой алгоритм является эффективным методом как для непрерывной, так и для комбинаторной оптимизации, обеспечивая скоординированный поиск оптимальных решений.

4 МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ

Алгоритм основан на поведении муравьев, и представляет из себя стаю муравьёв перемещающихся на графе для поиска наилучшего пути.

4.1 Цель и задачи практической работы

Целью практической работы является изучение принципов муравьиного алгоритма и его применение для решения задач нахождения кратчайшего пути. В рамках работы необходимо освоить механику работы феромонов, которые помогают найти лучший путь

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Выполнить ручной расчёт одной итерации муравьиного алгоритма для гамильтонова графа;
2. Реализовать муравьиный алгоритм на языке Python для автоматического поиска кратчайшего пути;
3. Применить алгоритм для решения задачи коммивояжёра;
4. Сравнить эффективность результатов ручного расчёта и программной реализации, выявив преимущества алгоритма для задач оптимизации.

4.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо реализовать роевый алгоритм вручную и кодово, алгоритм будет проверяться на задаче коммивояжёра где граф состоит из шести вершин.

4.3 Ручной расчёт

Выполним ручной расчёт одной итерации, для гамильтонова графа.

Сначала опишем формулы, которые будут использоваться при расчёте.

Перемещение по графу основывается на вероятности, с которой выбирается следующая вершина и рассчитывается по формуле:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha * \mu_{ij}^\beta}{\sum_{j \in N_i^k} \tau_{ij}^\alpha * \mu_{ij}^\beta}, & \text{если } j \in N_i^k \\ 0, & \text{в ином случае} \end{cases} \quad (4.1)$$

Здесь N_i^k представляет множество возможных вершин, связанных с i -й вершиной, для k -го муравья. Если для любого i -го узла и k -го муравья $N_i^k = \emptyset$, тогда предшественник узла i включается в N_i^k . В этом случае в пути возможны петли. Когда все муравьи построили полный путь от начальной до конечной вершины, удаляются петли в путях, и каждый муравей помечает свой построенный путь, откладывая для каждой дуги феромон в соответствии со следующей формулой.

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \frac{q}{L^k(t)} \quad (4.2)$$

Здесь $L^k(t)$ – длина пути, построенного k -м муравьем в момент времени t .

Таким образом, для каждой дуги графа концентрация феромона определяется следующим образом:

$$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^{n_k} \Delta\tau_{ij}^k(t) \quad (4.3)$$

где n_k - число муравьев.

Построим матрицу, которая будет описывать граф для ручного расчёта.

Таблица 4.1 – Значения матрицы

	1	2	3	4	5
1		10	15	20	25
2	10		35	25	30
3	15	35		30	10
4	20	25	30		15
5	25	30	10	15	

Исходное количество муравьев: 3.

Начальные феромоны для всех ребер: 0.2.

Начальная вершина: 1.

Рассчитаем вероятность перехода из первой вершины в каждую Вершину, для этого используем формулу 4.1:

$$P_{10} \approx 0.002$$

$$P_{12} \approx 0.06035$$

$$P_{13} \approx 0.1183$$

$$P_{14} \approx 0.0820$$

Сделаем выбор для муравьев:

Муравей 1: переходит в 0

Муравей 2: переходит в 3

Муравей 3: переходит в 4

Далее рассмотрим полный путь только одного муравья, текущий путь которого равен $1 \rightarrow 0$.

По формуле 4.1 рассчитаем вероятность для следующего перехода:

$$P_{02} \approx 0.5200$$

$$P_{03} \approx 0.2926$$

$$P_{04} \approx 0.1874$$

Переходим в 3-ю вершину, рассчитаем вероятности для следующих вершин, на данный момент путь муравья $1 \rightarrow 0 \rightarrow 3$.

$$P_{32} = 0.2$$

$$P_{34}=0.8$$

Переходим в 4-ую вершину. Далее переходим во вторую, так как она осталась последней, и замыкаем цикл, в итоге первый муравей имеет путь $1 \rightarrow 0 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ длина которого 90.

По формуле 4.2 получаем что для каждого ребра, который прошёл первый муравей добавляется 1.112 феромоны, добавление идёт после того как все муравьи пройдут свой путь и рассчитывается по формуле 4.3.

Проходы по ребрам для остальных муравьев остаётся идентичным, поэтому не рассматриваются.

При следующих итерациях данные шаги будут повторяться и муравьи будут находить наилучшее решение задачи Коммивояжёра.

4.4 Результат работы

Реализуем нахождение кратчайшего пути с помощью муравьиного алгоритма, количество муравьев: 10, количество итераций: 100, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении Г.

```
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
[1, 0, 2, 4, 3, 1] 75
Лучшая длина маршрута: 75.00
Лучший маршрут: [1, 0, 2, 4, 3, 1]
```

Рисунок 4.1 – Пример выполнения муравьиного алгоритма

4.5 Результат работы нахождения кратчайшего пути

В ходе практической работы был выполнен ручной расчёт одной итерации муравьиного алгоритма.

Данный расчёт демонстрирует работу муравьиного алгоритма: муравьи находят кратчайший путь, основываясь на феромонах, которые оставляют другие муравьи прошедшие эти пути.

Далее была выполнена кодовая реализация данного алгоритма, которая позволила:

1. Автоматически находить кратчайший путь;
2. Применять алгоритм для решения задачи коммивояжёра;

В результате работы показано, что муравьиный алгоритм является эффективным методом для нахождения кратчайшего пути и может использоваться в многих практических задачах использующих графы.

5 ПЧЕЛИНЫЙ АЛГОРИТМ

Алгоритм основан на поведении роя пчёл, и представляет из себя стаю разведчиков, которые изначально находят лучшие точки, и потом в окрестности этих точек посылаются рабочие пчёлы которые продолжают искать точки экстремума.

5.1 Цель и задачи практической работы

Целью практической работы является изучение принципов пчелиного алгоритма и его применение для решения задач нахождения точек экстремума.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

5. Выполнить ручной расчёт одной итерации пчелиного алгоритма для функции Била;
6. Реализовать пчелиный алгоритм на языке Python для автоматического поиска точек экстремума;
7. Применить алгоритм для функции Била;

Таблица 5.1 – Функция Била

Формула	Глобальный минимум	Метод поиска
$f(x, y) = (1.5 - x + xy)^2 + (2.25 - x + xy^2)^2 + (2.625 - x + xy^3)^2$	$f(3, 0.5) = 0$	$-4.5 \leq x, y \leq 4.5$

5.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо реализовать пчелиный алгоритм вручную и кодово, алгоритм будет проверяться на функции Била.

5.3 Ручной расчёт

Выполним ручной расчёт одной итерации данного алгоритма на примере функции Била.

Первоначально на случайные точки отправляются пчёлы разведчики. Из всех точек, на которые попали пчёл разведчики выбирается n лучших точек и m перспективных точек.

Рассмотрим пчелу, которая попала на координаты $(2, 1)$, значения функции в данной точке будет равно 14.203125 . Для дальнейшего расчёта будем воспринимать эту точку как лучшее значение в рое.

Теперь в область этой точки отправим рой рабочих пчёл.

Для первой координаты $[2 - 1 = 1; 2 + 1 = 3]$

Для второй координаты $[1 - 1 = 0; 1 + 1 = 2]$

В эту область отправляем рабочих пчёл, и рассчитываем значение функции в точках рабочих пчёл, данные действия производятся для всех найденных лучших и перспективных областей, после чего среди всех новых точек снова отмечаются лучшие, а процесс повторяется.

5.4 Результат работы

Реализуем нахождение точек экстремума с помощью пчелиного алгоритма, количество пчёл разведчиков: 10, пчёл отправляющихся в лучшие области 5, лучших областей 2 количество итераций: 1000, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении Д.

```
(venv) PS C:\Users\semen\Desktop\MIREA\System_data_analysis\Practice5> py .\pchela.py
14.203125
Эталон: f(3, 0.5) = 0
Результат x = 3.01150 y = 0.50096 f = 0.00010
```

Рисунок 5.1 – Пример выполнения пчелиного алгоритма

5.5 Результат работы нахождения минимума

В ходе практической работы был выполнен ручной расчёт одной итерации пчелиного алгоритма.

Данный расчёт демонстрирует работу пчелиного алгоритма: пчелы разведчики находят лучшие и перспективные точки, на которые отправляются рабочие пчёлы и происходит поиск экстремума функции.

Далее была выполнена кодовая реализация данного алгоритма, которая позволила автоматически находить точки минимума функции;

В результате работы показано, что пчелиный алгоритм является эффективным методом для точек экстремума функции и может использоваться в задачах оптимизации.

6 АЛГОРИТМ ОБЕЗЬЯН

Алгоритм основан на поведении стаи обезьян, они перемещаются с помощью прыжков в окрестностях своего местоположения и если не находят лучшего значения, то перемещаются к центру нахождения всех обезьян, в следствие чего находят точки экстремума функций.

6.1 Цель и задачи практической работы

Целью практической работы является изучение принципов алгоритма обезьян и его применение для решения задач нахождения точек экстремума.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

8. Выполнить ручной расчёт одной итерации алгоритма обезьян для функции Била;
9. Реализовать алгоритм обезьян на языке Python для автоматического поиска точек экстремума;
10. Применить алгоритм для функции Била;

Таблица 6.1 – Функция Била

Формула	Глобальный минимум	Метод поиска
$f(x, y) = (1.5 - x + xy)^2 + (2.25 - x + xy^2)^2 + (2.625 - x + xy^3)^2$	$f(3, 0.5) = 0$	$-4.5 \leq x, y \leq 4.5$

6.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо реализовать алгоритм обезьян вручную и кодово, алгоритм будет проверяться на функции Била.

6.3 Ручной расчёт

Выполним ручной расчёт одной итерации данного алгоритма на примере функции Била.

Первоначально все обезьяны отправляются на случайные точки.

После каждая обезьяна начинает делать локальные прыжки фиксированное количество раз, если после прыжка, значение функции меньше изначального, количество прыжков обнуляется.

Допустим, что обезьяна попала в точку (2, 1) со значением функции 14.203125, далее необходимо определить область, в которой обезьяна будет совершать прыжки.

$$x_{ij} = ((x_{ij} - b); (x_{ij} + b)) \quad (6.1)$$

Формула 6.1, где b – длина прыжка, используется вычисления длины прыжка. За b возьмём 1. По формуле 6.1 вычислим область для первой и для второй координаты.

Для первой координаты $[2 - 1 = 1; 2 + 1 = 3]$

Для второй координаты $[1 - 1 = 0; 1 + 1 = 2]$

Если лимит прыжков исчерпан, обезьяна совершает глобальный прыжок в сторону центра всех обезьян, перелетая его.

$$x_{ij} = x_{ij} + \gamma(x_j^c - x_{ij}) \quad (6.2)$$

$$x_j^c = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S x_{ij} \quad (6.3)$$

Формула 6.2 является экстраполяционной функцией, которая рассчитывает куда производится глобальный прыжок, x_j^c – центральная точка среди всех обезьян, получаемая по формуле 6.3, где S – количество обезьян, x_{ij} – текущее

положение обезьяны. γ – случайный параметр в диапазоне от 1 до 2, с помощью которого обезьяна перелетает центр и данные формулы вычисляются как для первой так и для второй координаты.

Данные действия повторяются для всей стаи обезьян пока не будет выполнен критерий остановки.

Перейдём к ручному расчёту одной итерации, возьмём 3 обезьяны с максимальным количеством локальных прыжков равных 5.

Обезьяна 1: $x = 1.0$, $y = 2.0$, $f(x,y) = 126.45$;

Обезьяна 1: $x = 2.0$, $y = 0.5$, $f(x,y) = 39.45$;

Обезьяна 1: $x = 3.0$, $y = 1.0$, $f(x,y) = 14.20$;

По формуле 6.3 рассчитаем центр стаи.

Центр: $x_c = 0.67$ и $y_c = 1.17$;

Совершим локальные прыжки для первой обезьяны, область прыжка будет рассчитываться по формуле 6.1.

Обезьяна 1:

Прыжок 1: Область прыжка: $[0.9, 1.1]$ и $[1.9, 2.1]$;

Новое место: $x = 1.05$, $y = 1.95$, $f(x,y) = 120.82$;

Это значение лучше, сбрасываем количество оставшихся прыжков до 5 и записываем эти значения в лучший результат.

Прыжок 2: Область прыжка: $[0.95, 1.15]$ и $[1.85, 2.05]$;

Новое место: $x = 1.12$, $y = 1.88$, $f(x,y) = 112.02$;

Это значение лучше, сбрасываем количество оставшихся прыжков до 5 и записываем эти значения в лучший результат.

Прыжок 3: Область прыжка: $[1.02, 1.22]$ и $[1.78, 1.98]$;

Новое место: $x = 1.18$, $y = 1.82$, $f(x,y) = 103.48$;

Это значение лучше, сбрасываем количество оставшихся прыжков до 5 и записываем эти значения в лучший результат.

Прыжок 4: Область прыжка: $[1.08, 1.28]$ и $[1.72, 1.92]$;

Новое место: $x = 1.25$, $y = 1.75$, $f(x,y) = 94.44$;

Это значение лучше, сбрасываем количество оставшихся прыжков до 5 и записываем эти значения в лучший результат.

Прыжок 5: Область прыжка: [1.15, 1.35] и [1.65, 1.85];

Новое место: $x = 1.30$, $y = 1.70$, $f(x,y) = 87.177$;

Это значение лучше, сбрасываем количество оставшихся прыжков до 5 и записываем эти значения в лучший результат.

Данные шаги повторяются, пока не случится 5 прыжков, при которых новое значение функции будет хуже прошлых. Если за всё количество локальных прыжков значение функции не улучшилось, обезьяна совершает глобальный прыжок, иначе остаётся в своей точке. Центр стаи у нас есть это координаты x_c и y_c .

Воспроизведём ситуацию, при которой первая обезьяна постоянно совершила бы плохие прыжки и ей пришлось бы делать глобальный прыжок, воспользуемся формулой 6.2 и рассчитаем координаты прыжка.

Тогда обезьяна 1 находится в точке (1,2), центр находится в точке (0.67,1.17) и γ равен 1.5.

Новые значения : $x = 0.505$ $y = 0.921$, данные значения находятся в указанных пределах, поэтому рассчитаем функцию $f(0.505, 0.921) = 13.174$.

После расчёта новых координат первой обезьяны, мы переходим к следующей и так пока все обезьяны не перейдут к новым позициям.

6.4 Результат работы

Реализуем нахождение точек экстремума с помощью алгоритма обезьян, количество обезьян: 15, максимальное количество локальных прыжков: 20, шаг 0.1, количество итераций: 1000, выполним реализацию на языке Python. Реализация представлена в приложении Е.

```
(venv) PS C:\Users\semen\Desktop\MIREA\System_data_analysis\Practice6> py .\monkey.py  
Эталон: f(3, 0.5) = 0  
Результат x = 2.99504 y = 0.49872 f = 0.00000401
```

Рисунок 6.1 – Пример выполнения алгоритма обезьян

6.5 Результат работы нахождения минимума

В ходе практической работы был выполнен ручной расчёт одной итерации алгоритма обезьян.

Данный расчёт демонстрирует работу алгоритма обезьян: обезьяны совершают локальные и глобальные прыжки пока не будет выполнен критерий остановки.

Далее была выполнена кодовая реализация данного алгоритма, которая позволила автоматически находить точки минимума функции;

В результате работы показано, что алгоритм обезьян является эффективным методом для точек экстремума функции и может использоваться в задачах оптимизации.

7 ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ

Генетический алгоритм является эволюционным алгоритмом и полностью основан на итерации родительских точек, что делает его крайне эффективным в множестве задач.

7.1 Цель и задачи практической работы

Целью практической работы является освоение генетического метода и его применение для решения задач оптимизации различного типа. В рамках работы необходимо изучить принципы работы алгоритма.

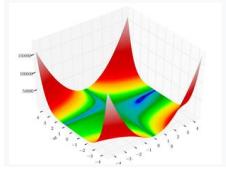
Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Реализовать генетический алгоритм для нахождения минимума заданной функции;
2. Проанализировать влияние параметров алгоритма на качество и скорость сходимости;
3. Сравнить полученные результаты с другими методами;
4. Сделать выводы о применимости генетического алгоритма для задач оптимизации.

7.2 Постановка задачи

В рамках практической работы необходимо реализовать нахождение минимума функции с помощью генетического алгоритма.

Как тестовая функция была выбрана функция Била.



$$f(x, y) = (1.5 - x + xy)^2 + (2.25 - x + xy^2)^2 + (2.625 - x + xy^3)^2$$

$$f(3, 0.5) = 0$$

Рисунок 7.1 – Функция Била

7.3 Ручной расчёт

Выполним ручной расчёт одной итерации, для функции Била диапазон значений для x и y равен $[-4.5; 4.5]$.

Для расчёта будут использованы следующие формулы:

Фитнес функция:

$$fit(x) = \frac{1}{1+f(x)} \quad (7.1)$$

Функция для линейной комбинации родителей при создании нового потомка:

$$c = \alpha * p_1 + (1 - \alpha) * p_2 \quad (7.2)$$

Где p – координаты точек родителей и α – случайный параметр:

Формула расчёта мутации:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \delta \quad (7.3)$$

Где δ – случайная величина распределённая по нормальному закону. Данная формула работает как для первой так и для второй координаты.

Начнём расчёт, для начала инициализируем популяцию, назначив каждой особи координаты и для этих координат вычислив функцию и фитнесс функцию по формуле 7.1:

Особь 1 : $x = 2.1$, $y = -1.8$, $f(x,y) = 204.95$, $fit = 0.005$;

Особь 2 : $x = 0.3$, $y = 3.2$, $f(x,y) = 177.64$, $fit = 0.006$;

Особь 3 : $x = -2.7$, $y = -0.5$, $f(x,y) = 81.14$, fit = 0.012;

Особь 4 : $x = 1.5$, $y = 2.8$, $f(x,y) = 1333.75$, fit = 0.0007;

Особь 5 : $x = -3.9$, $y = 1.2$, $f(x,y) = 0.85$, fit = 0.540;

Особь 6 : $x = 4.2$, $y = -2.3$, $f(x,y) = 3339.16$, fit = 0.0003;

Особь 7 : $x = -0.8$, $y = 0.9$, $f(x,y) = 16.34$, fit = 0.058;

Особь 8 : $x = 3.6$, $y = -3.1$, $f(x,y) = 12993.33$, fit = 0.00008;

Особь 9 : $x = -1.4$, $y = 4.1$, $f(x,y) = 8955.14$, fit = 0.00011;

Особь 10 : $x = 2.8$, $y = 1.5$, $f(x,y) = 127.49$, fit = 0.0077;

Первое поколение сформировано, теперь на его основе сформируем новое поколение, сначала производится турнирный отбор, где выбираются 3 случайные особи, и потом выбирается одна лучшая особь из этих трёх.

Родитель 1:

Пусть случайные особи: 2, 5, 9, из данных особей лучшей является особь под номером 5.

Родитель 2:

Пусть случайные особи: 3, 7, 10, из данных особей лучшей является особь под номером 7.

Следующий этап, после выбора родителей, формирование детей, с вероятностью 80% два ребёнка образуются с помощью формулы 7.2 и с вероятностью 20% оба ребёнка копируют родителей. Воспользуемся формулой 7.2 с учётом что $\alpha = 0.4$.

Ребёнок 1: $x = -2.04$, $y = 1.02$;

Ребёнок 1: $x = -2.66$, $y = 1.08$;

Произведём мутацию детей, основываясь на формуле 7.3, мутация производится с вероятностью 0.1, для каждой координаты отдельно.

Допустим что для ребёнка 1 для координаты x мутация не прошла, а для координаты y прошла, тогда высчитав мутацию по формуле 7.3 новые значения координат: $x = -2.04$ и $y = 1.09$.

Допустим что для ребёнка 2 для координаты x мутация прошла, а для координаты y не прошла, тогда высчитав мутацию по формуле 7.3 новые значения координат: $x = -2.69$ и $y = 1.08$.

Так мы повторяем этот алгоритм, пока у нас не образуется 10 детей, которые будут являться вторым поколением, полностью основанном на первом поколении. После чего производится расчёт нового поколения и так заданное количество итераций.

7.4 Результат работы генетического алгоритма

Реализуем нахождение минимума функции с помощью генетического алгоритма. Реализация представлена в приложении Б.

```
f = 0.670616 в точке [3.28699542 0.4024386 ]
f = 0.000085 в точке [2.97840891 0.49396432]
f = 0.000013 в точке [3.0086742 0.50196172]
f = 0.000002 в точке [3.00129718 0.50001239]
Результат x = 3.00130 y = 0.50001 f = 0.00000248
```

Рисунок 7.2 – Пример нахождение минимума генетическим алгоритмом

7.5 Результат работы нахождения минимума

В ходе практической работы был выполнен ручной расчёт одной итерации генетического алгоритма. Также ручной расчёт одной итерации задачи Коммивояжёра.

Данный расчёт наглядно показывает принцип работы метода: формирование нового поколения на основе работы старого и небольшой мутации как в нахождении минимума функции так и в решении задачи Коммивояжёра.

Далее была выполнена кодовая реализация алгоритма. В результате работы показано, что алгоритм являются достаточно эффективными инструментом как для задач оптимизации и нахождения кратчайшего пути.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Завершая изучение курса «Системный анализ данных в системах поддержки принятия решений», можно отметить, что проверка рассмотренных методов на задачах нахождения минимума функций и решении задачи коммивояжёра позволила убедиться в их практической эффективности. Использование онтологических моделей дало возможность формализовать знания о предметной области и обеспечить корректную интерпретацию данных, а природоподобные алгоритмы продемонстрировали способность находить оптимальные решения в ситуациях, где традиционные подходы сталкиваются с трудностями. Метод отжига, роевые технологии, муравьиные и пчелиные алгоритмы показали, как механизмы, вдохновлённые процессами природы, позволяют успешно преодолевать сложный рельеф функции или большое число возможных маршрутов в TSP.

Проанализировав все методы необходимо выделить метод отжига, данный метод хоть и прост в реализации, является крайне эффективным и не уступает другим алгоритмам как в нахождении минимума функции, так и в задаче Коммивояжёра, но также нужно затронуть и алгоритм обезьян, который хоть и требует вычисления большого количества математических операций, но очень точно находим минимум функции за минимальное количество итераций.

СПИСОК ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Python Software Foundation. Python Documentation — [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения: 15.09.2025).
2. Лутц М. Изучаем Python. 5-е изд. / пер. с англ. — Санкт-Петербург: Символ-Плюс, 2019. — 1648 с.
3. Балаяев С. А. Объектно-ориентированное программирование. Учебное пособие. — Москва : ФОРУМ, ИНФРА-М, 2020. — 256 с.
4. Гринберг Д. Программирование на Python 3. Подробное руководство. — Москва : Вильямс, 2014. — 832 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А – Код программы Онтологии

Приложение Б – Код программы Метод отжига

Приложение Б.1 – Код программы Решение задачи Коммивояжера

Приложение В – Код программы Роевой алгоритм

Приложение Г – Код программы Муравьиный алгоритм

Приложение Д – Код программы Пчелиного алгоритм

Приложение Е – Код программы Алгоритм обезьян

Приложение Ж – Код программы Генетический алгоритм

Приложение А

Код программы Онтологии

Листинг A.1 — Основной алгоритм программы

```
from abc import ABC, abstractmethod
class PsyHospital:
    pass
class Staff:
    pass
class HeadHosp:
    pass
class AdmHosp:
    pass
class WorkerHosp:
    pass
class RoomHosp:
    pass
class PsyHospital(ABC):
    pass
class Staff(PsyHospital):
    pass

class HeadHosp(Staff):
    def __init__(self, name: str, post: str):
        self.name = name
        self.post = post
        self.subs = []

    def print_subs(self):
        print(f"Подчинённые {self.name} ({self.post}):")
        for obj in self.subs:
            print(f"\t{obj.name}\t({obj.post})")

    def find_boss(self, boss_name):
        if (self.boss.name == boss_name):
            return f"{self.boss.name} ({self.boss.post})"
        else:
            return None

    def find_staff(self, staff_name):
        for obj in self.subs:
            if (obj.name == staff_name):
                return f"{self.name} ({self.post}) управляет\n{obj.name} ({obj.post})"
            else:
                find_staff = obj.find_staff(staff_name)
                if (find_staff != None):
                    return f"{self.name} ({self.post}) управляет "
```

Листинг A.2 — Продолжение листинга A.1

```
+ find_staff
    return None
class AdmHosp(Staff):
    def __init__(self, name: str, post: str, boss: HeadHosp):
        self.name = name
        self.post = post
        self.boss = boss
        self.subs = []
        boss.subs.append(self)

    def print_subs(self):
        print(f"Подчинённые {self.name} ({self.post}):")
        for obj in self.subs:
            print(f"\t{obj.name}\t({obj.post})")

    def print_boss(self):
        print(f"{self.name} подчинён"
              f"\n{self.boss.name} ({self.boss.post})")

    def find_boss(self, boss_name):
        if (self.boss.name == boss_name):
            return f"{self.name} ({self.post}) подчиняется"
        else:
            boss_of_boss = self.boss.find_boss(boss_name)
            if (boss_of_boss != None):
                return f"{self.name} ({self.post}) подчиняется " +
                    boss_of_boss
            else:
                return None

    def find_staff(self, staff_name):
        for obj in self.subs:
            if (obj.name == staff_name):
                return f"{self.name} ({self.post}) управляет"
                f"\n{obj.name} ({obj.post})"
            else:
                find_staff = obj.find_staff(staff_name)
                if (find_staff != None):
                    return f"{self.name} ({self.post}) управляет "
+ find_staff
        return None

class WorkerHosp(Staff):
    def __init__(self, name: str, post: str, boss: AdmHosp):
        self.name = name
        self.post = post
        self.boss = boss
        boss.subs.append(self)

    def print_boss(self):
        print(f"{self.name} подчинён")
```

Листинг A.3 — Продолжение листинга A.2

```
{self.boss.name} ({self.boss.post})")  
  
    def find_boss(self, boss_name):  
        if (self.boss.name == boss_name):  
            return f"{self.name} ({self.post}) подчиняется  
{self.boss.name} ({self.boss.post})"  
        else:  
            boss_of_boss = self.boss.find_boss(boss_name)  
            if (boss_of_boss != None):  
                return f"{self.name} ({self.post}) подчиняется " +  
boss_of_boss  
            else:  
                return None  
  
    def find_staff (self, staff_name):  
        return None  
  
class RoomHosp(PsyHospital):  
    def __init__(self, name: str, boss: AdmHosp):  
        self.name = name  
        self.boss = boss  
        self.post = "Помещение"  
        boss.subs.append(self)  
  
    def print_boss(self):  
        print(f"{self.name} управляет  
{self.boss.name} ({self.boss.post})")  
  
    def find_boss(self, boss_name):  
        if (self.boss.name == boss_name):  
            return f"{self.name} управляет {self.boss.name}  
({self.boss.post})"  
        else:  
            boss_of_boss = self.boss.find_boss(boss_name)  
            if (boss_of_boss != None):  
                return f"{self.name} управляет " + boss_of_boss  
            else:  
                return None  
  
    def find_staff (self, staff_name):  
        return None  
  
if __name__ == '__main__':  
    # Глава руководства  
    Head = HeadHosp("Иванов И.И.", "Главный врач")  
    # Руководство  
    MainNurse = AdmHosp("Долгова Д.Д.", "Главная  
медсестра", Head)  
    HeadOfRooms = AdmHosp("Дубинкин Д.Д.", "Заведующий  
отделениями", Head)  
    HeadOfStaff = AdmHosp("Рошин Р.Р.", "Заведующий  
персоналом", Head)
```

Листинг A.4 — Продолжение листинга A.3

```
# Штат
Secur = WorkerHosp ("Листьев Л.Л.", "Охранник",
HeadOfStaff)
MedBrat = WorkerHosp ("Петров П.П.", "Санитар",
MainNurse)
Cleaner = WorkerHosp ("Сидоров С.С.", "Уборщик",
HeadOfStaff)
Nurse = WorkerHosp ("Смирнова С.С.", "Медсестра",
MainNurse)

# Помещения
MainHall = RoomHosp ("Главный зал", HeadOfRooms)
MedRoom = RoomHosp ("Лечебная палата", MainNurse)
Reception = RoomHosp ("Приёмный зал", HeadOfRooms)
WalkingArea = RoomHosp ("Прогулочная зона", HeadOfRooms)

Head.print_subs()
MainNurse.print_boss()
WalkingArea.print_boss()

print(WalkingArea.find_boss("Иванов И.И."))
print(Head.find_staff("Приёмный зал"))
```

Приложение Б

Код программы Онтологии

Листинг Б.1 — Основной алгоритм программы

```
import numpy as np

def f(x, y):
    return (1.5 - x + x*y)**2 + (2.25 - x + x*(y**2))**2 + (2.625 -
x + x*(y**3))**2

def otzhig(T = 1, Tmin = 1e-100, alpha = np.random.uniform(0.1, 1)):
    xb = np.random.uniform(-4.5, 4.5)
    yb = np.random.uniform(-4.5, 4.5)

    while (T > Tmin):
        xi = np.random.uniform(-4.5, 4.5)
        yi = np.random.uniform(-4.5, 4.5)

        funci = f(xi,yi)
        funcb = f(xb,yb)

        if (funci - funcb <= 0):
            xb = xi
            yb = yi
        else:
            if (np.exp(-(funci - funcb) / T) > np.random.uniform(0,
1)):
                xb = xi
                yb = yi

        T *= alpha

    return xb, yb

def otzhigKoshi(T = 1, Tmin = 1e-1000, k=1):
    xb = np.random.uniform(-4.5, 4.5)
    yb = np.random.uniform(-4.5, 4.5)

    while (T > Tmin):
        xi = np.random.uniform(-4.5, 4.5)
        yi = np.random.uniform(-4.5, 4.5)

        funci = f(xi,yi)
        funcb = f(xb,yb)

        if (funci - funcb <= 0):
            xb = xi
            yb = yi
```

Листинг Б.2 — Продолжение листинга Б.1

```
else:  
    if (np.exp(-(funci - funcb) / T) > np.random.uniform(0,  
1)):  
        xb = xi  
        yb = yi  
  
        T /= k  
        k+=1  
  
    return xb, yb  
  
print("Эталон: f(3,0.5) = 0")  
xb, yb = otzhig()  
print("Отжиг")  
print(xb, yb)  
print(f(xb, yb))  
  
print("Отжиг Коши")  
xb, yb = otzhigKoshi()  
print(xb, yb)  
print(f(xb, yb))
```

Листинг Б.1.1 — Решение задачи Коммивояжера

```
import numpy as np

def createGraph(cNodes):
    structure = {}
    step = 1
    for i in range (cNodes):
        structure[str(i + step)] = []

    for i in range (cNodes):
        for j in range (i + 1,cNodes):
            w = np.random.randint(1, 6)

            structure[str(i + step)].append((str(j + step), w))
            structure[str(j + step)].append((str(i + step), w))

    return structure, step

def findWay(cNodes, struct, step, T = 1,Tmin = 1e-1000, k = 1):
    start = str(step)
    curr = start
    next_step = ''

    pb = [start]
    wb = 0

    for i in range (cNodes - 1):
        while True:
            next_step = str(np.random.randint(step, cNodes + 1))
            if next_step not in pb:
                break
            pb.append(next_step)

        for l in struct[curr]:
            if l[0] == next_step:
                wb += l[1]

        curr = next_step
    pb.append(start)
    for l in struct[curr]:
        if l[0] == start:
            wb += l[1]

    print(' -> '.join(pb))
    print('Bec:', wb)

    while T > Tmin:
        pi = [start]
        wi = 0
```

Листинг Б.1.2 — Продолжение листинга Б.1.1

```
for i in range (cNodes - 1):
    while True:
        next_step = str(np.random.randint(step, cNodes + 1))
        if next_step not in pi:
            break
        pi.append(next_step)

    for l in struct[curr]:
        if l[0] == next_step:
            wi += l[1]

    curr = next_step
    pi.append(start)
    for l in struct[curr]:
        if l[0] == start:
            wi += l[1]

    if (wi - wb <= 0):
        wb = wi
        pb = pi
    else:
        if (np.exp(-(wi - wb) / T) > np.random.uniform(0, 1)):
            wb = wi
            pb = pi

    print(' -> '.join(pi))
    print('Bec:', wi)
    T /= k
    k += 1
return pb, wb

cNodes = 6
structure, step = createGraph(cNodes)
# print(structure)

path, weight = findWay(cNodes, structure, step)
print('\nКратчайший путь:')
print(' -> '.join(path))
print('Bec:', weight)
```

Приложение В

Код программы Онтологии

Листинг B.1 — Основной алгоритм программы

```
import numpy as np

def f(x, y):
    return (1.5 - x + x*y)**2 + (2.25 - x + x*(y**2))**2 + (2.625 -
x + x*(y**3))**2

class Particle():
    def __init__(self):
        self.xi = []
        self.yi = []
        self.func = []
        self.Vxi = []
        self.Vyi = []

    def find_best(self):
        minf = min(self.func)
        for i in range(len(self.func)):
            if minf == self.func[i]:
                return self.xi[i], self.yi[i]

class Roi():
    def __init__(self):
        self.parts = []
        self.glob_best = ()
        self.iteration = 0

        self.c1, self.c2 = 2, 2
        self.rl, self.r2 = np.random.uniform(0, 1),
np.random.uniform(0, 1)

    def create(self, count, minZ, maxZ):
        for _ in range(count):
            part = Particle()

            part.xi.append(np.random.uniform(minZ, maxZ))
            part.yi.append(np.random.uniform(minZ, maxZ))
            part.func.append(f(part.xi[0],part.yi[0]))

            part.Vxi.append(np.random.uniform(minZ, maxZ))
            part.Vyi.append(np.random.uniform(minZ, maxZ))

            self.parts.append(part)
            minf = min(obj.func for obj in self.parts)
            for obj in self.parts:
                self.glob_best = (obj.xi[0], obj.yi[0], obj.func[0]) if
minf == obj.func else self.glob_best
```

Листинг B.2 — Продолжение листинга B.1

```
def new_v(self, n, xb, yb):
    return (
        self.parts[n].Vxi[self.iteration]
        + self.c1 * self.r1 * (xb -
self.parts[n].xi[self.iteration])
        + self.c2 * self.r2 * (self.glob_best[0] -
self.parts[n].xi[self.iteration]))
    ), (
        self.parts[n].Vyi[self.iteration]
        + self.c1 * self.r1 * (yb -
self.parts[n].yi[self.iteration])
        + self.c2 * self.r2 * (self.glob_best[1] -
self.parts[n].yi[self.iteration]))
    )

def make_iter(self, N):
    for i in range(N):
        xb, yb = self.parts[i].find_best()
        Vx, Vy = self.new_v(i, xb, yb)

        self.parts[i].Vxi.append(Vx)
        self.parts[i].Vyi.append(Vy)

        self.parts[i].xi.append(self.parts[i].xi[self.iteration] + Vx)
        self.parts[i].yi.append(self.parts[i].yi[self.iteration] + Vy)

        self.parts[i].func.append(f(self.parts[i].xi[self.iteration] + Vx,
self.parts[i].yi[self.iteration] + Vy))

        minf = min(min(obj.func) for obj in self.parts)
        for obj in self.parts:
            for i in range(len(obj.func)):
                self.glob_best = (obj.xi[i], obj.yi[i],
obj.func[i]) if minf == obj.func[i] else self.glob_best

        self.iteration += 1

def print(self):
    for obj in self.parts:
        print(f'x = {obj.xi[self.iteration]} y =
{obj.yi[self.iteration]} f(x,y) = {obj.func[self.iteration]}')
```

Листинг B.3—Продолжение листинга B.2

```
if __name__ == '__main__':
    obj = Roi()
    N = 5
    max_iter = 100

    obj.create(N, -4.5, 4.5)

    print("==Начальные позиции роя==")
    obj.print()
    print(obj.glob_best)

    while obj.iteration != max_iter:
        obj.make_iter(N)

    print("\n==Конечные позиции роя==")
    obj.print()
    print(obj.glob_best)
```

Приложение Г

Код программы Муравьиный алгоритм

Листинг Г.1 — Основной алгоритм программы

```
import numpy as np
import random

def createGraph(cNodes):
    structure = {}
    step = 1
    for i in range (cNodes):
        structure[str(i + step)] = []

    for i in range (cNodes):
        for j in range (i + 1,cNodes):
            w = np.random.randint(1, 6)

            structure[str(i + step)].append((str(j + step), w))
            structure[str(j + step)].append((str(i + step), w))

    return structure, step

def aco_tsp(graph, startNode, num_ants=10, iterations=100,
alpha=1):
    nodes = list(graph.keys())
    n = len(nodes)

    tau = {i: {j: np.random.uniform(0.1, 1.0) for j, _ in graph[i]} for i in graph}
    eta = {i: {j: 1 / w for j, w in graph[i]} for i in graph}

    best_length = float('inf')
    best_path = None

    for t in range(iterations):
        paths = []
        lengths = []

        for _ in range(num_ants):
            start = str(startNode)
            unvisited = set(nodes)
            unvisited.remove(start)
            path = [start]
            total_dist = 0
            current = start

            while unvisited:
                neighbors = [n for n, _ in graph[current] if n in unvisited]
                if not neighbors:
                    break
                else:
```

Листинг Г.2 — Продолжение листинга Г.1

```
probs = []
denom = sum((tau[current][j] ** alpha) for j in
neighbors)
for j in neighbors:
    p = (tau[current][j] ** alpha) / denom
    probs.append(p)

next_node = random.choices(neighbors,
weights=probs, k=1)[0]
dist = next(w for wj, w in graph[current] if wj ==
next_node)
total_dist += dist
path.append(next_node)
unvisited.remove(next_node)
current = next_node

if len(path) == n:
    last, first = path[-1], path[0]
    dist = next(w for wj, w in graph[last] if wj ==
first)
    total_dist += dist
    path.append(first)

# print(' -> '.join(path))
# print(total_dist)

paths.append(path)
lengths.append(total_dist)

if total_dist < best_length:
    best_length = total_dist
    best_path = path

for k in range(num_ants):
    path = paths[k]
    length = lengths[k]
    for i in range(len(path) - 1):
        a, b = path[i], path[i + 1]
        tau[a][b] += 1 / length
        tau[b][a] += 1 / length

return best_path, best_length
```

Листинг Г.3— Продолжение листинга Г.2

```
if __name__ == '__main__':
    cNodes = 6
    structure, start = createGraph(cNodes)

    path, weight = aco_tsp(structure, startNode=start, num_ants =
cNodes)
    print("Кратчайший путь:", ' -> '.join(path))
    print("Длина:", weight)
```

Приложение Д

Код программы Пчелиного алгоритм

Листинг Д.1 — Основной алгоритм программы

```
import numpy as np

def f(x, y):
    return (1.5 - x + x*y)**2 + (2.25 - x + x*(y**2))**2 + (2.625 -
x + x*(y**3))**2

class Bee():
    def __init__(self):
        self.x = 0
        self.y = 0
        self.f = 0

    def calc(self):
        self.f = f(self.x, self.y)
        return self.f

    def calc_x_area(self, inaccuracy):
        return self.x - inaccuracy, self.x + inaccuracy

    def calc_y_area(self, inaccuracy):
        return self.y - inaccuracy, self.y + inaccuracy
        break

class Colony():
    def __init__(self):
        self.scouts = 10
        self.best = 5
        self.worst = 2
        self.best_area = 2
        self.worst_area = 1
        self.inaccuracy = 1.5

    def bee_atack(self, iter, minX, maxX, minY, maxY):
        bee = []
        for i in range (iter):
            bee = Bee()
            bee.x = np.random.uniform(minX, maxX)
            bee.y = np.random.uniform(minY, maxY)
            bee.x = np.clip(bee.x, -4.5, 4.5)
            bee.y = np.clip(bee.y, -4.5, 4.5)
            bee.calc()
            bee.append(bee)
        bee.sort(key=lambda b: b.f)
        return bee
```

Листинг Д.2 — Продолжение листинга Д.1

```
def find_best(self, iter):
    beeZ = self.bee_atack(self.scouts, -4.5, 4.5, -4.5, 4.5)
    beeZ = beeZ[:self.best_area + self.worst_area]

    cur_beeZ = []
    for i in range(iter):
        for bee in range(self.best_area):
            minX, maxX = beeZ[bee].calc_x_area(self.inaccuracy)
            minY, maxY = beeZ[bee].calc_y_area(self.inaccuracy)
            cur_beeZ += self.bee_atack(self.best, minX, maxX,
minY, maxY)

        for bee in range(self.worst_area):
            minX, maxX = beeZ[self.best_area +
bee].calc_x_area(self.inaccuracy)
            minY, maxY = beeZ[self.best_area +
bee].calc_y_area(self.inaccuracy)
            cur_beeZ += self.bee_atack(self.worst, minX, maxX,
minY, maxY)

    cur_beeZ.sort(key=lambda b: b.f)
    cur_beeZ = cur_beeZ[:self.best_area + self.worst_area]

    return cur_beeZ[0]

if __name__ == '__main__':
    print("Эталон: f(3, 0.5) = 0")

    c = Colony()
    iter = 1000

    best_bee = c.find_best(iter)
    print(f"Результат x = {best_bee.x:.5f} y = {best_bee.y:.5f} f =
{best_bee.f:.5f}")
```

Приложение E

Код программы Алгоритм обезьян

Листинг E.1 — Основной алгоритм программы

```
import numpy as np

def f(x, y):
    return (1.5 - x + x*y)**2 + (2.25 - x + x*(y**2))**2 + (2.625 -
x + x*(y**3))**2

class Monkey:
    def __init__(self):
        self.x = 0
        self.y = 0
        self.f = 0
        self.xi = 0
        self.yi = 0
        self.fi = 0
        self.step = 0.1

    def calc(self):
        self.f = f(self.x, self.y)
        return self.f

    def make_local_jump(self, max_jump):
        self.xi, self.yi, self.fi = self.x, self.y, self.f
        best_xi, best_yi, best_ci = self.xi, self.yi, self.fi
        jumps_left = max_jump
        while jumps_left > 0:
            trial_x = np.random.uniform(self.xi - self.step,
self.xi + self.step)
            trial_y = np.random.uniform(self.yi - self.step,
self.yi + self.step)
            trial_x = np.clip(trial_x, -4.5, 4.5)
            trial_y = np.clip(trial_y, -4.5, 4.5)
            trial_f = f(trial_x, trial_y)
            if trial_f < best_ci:
                best_xi, best_yi, best_ci = trial_x, trial_y,
trial_f
            jumps_left -= 1
        self.xi, self.yi, self.fi = best_xi, best_yi, best_ci
        return self.fi
```

Листинг E.2 — Продолжение листинга E.1

```
def make_global_jump(self, c_x, c_y):
    self.x = self.x + np.random.uniform(1, 2) * (c_x - self.x)
    self.y = self.y + np.random.uniform(1, 2) * (c_y - self.y)

    self.x = np.clip(self.x, -4.5, 4.5)
    self.y = np.clip(self.y, -4.5, 4.5)

    self.calc()

def update(self):
    self.x, self.y, self.f = self.xi, self.yi, self.fi

class Troop:
    def __init__(self):
        self.n_monkeys = 15
        self.max_local_jumps = 20

    def monkey_init(self, minZ, maxZ):
        monkeyz = []
        for _ in range(self.n_monkeys):
            m = Monkey()
            m.x = np.random.uniform(minZ, maxZ)
            m.y = np.random.uniform(minZ, maxZ)
            m.calc()

            monkeyz.append(m)
        return monkeyz

    def find_best(self, iter):
        monkeyz = self.monkey_init(-4.5, 4.5)

        for i in range(iter):
            c_x = np.mean([m.x for m in monkeyz])
            c_y = np.mean([m.y for m in monkeyz])

            for monk in monkeyz:
                if monk.make_local_jump(self.max_local_jumps) <
monk.f:
                    monk.update()
                else:
                    monk.make_global_jump(c_x, c_y)
                    c_x = np.mean([m.x for m in monkeyz])
                    c_y = np.mean([m.y for m in monkeyz])

        monkeyz.sort(key=lambda b: b.f)
        return monkeyz[0]
```

Листинг E.3 — Продолжение листинга E.2

```
if __name__ == '__main__':
    print("Эталон: f(3, 0.5) = 0")

    troop = Troop()
    iter = 100

    best_monkey = troop.find_best(iter)
    print(f"Результат x = {best_monkey.x:.5f} y =
{best_monkey.y:.5f} f = {best_monkey.f:.8f}")
```

Приложение Ж

Код Генетического алгоритма

Листинг Ж.1 — Основной алгоритм программы

```
import numpy as np

def f(x, y):
    return (1.5 - x + x*y)**2 + (2.25 - x + x*(y**2))**2 + (2.625 -
x + x*(y**3))**2

def genetic_minimize_beale(
    pop_size=50,
    n_generations=200,
    x_bounds=(-4.5, 4.5),
    y_bounds=(-4.5, 4.5),
    pc=0.8,
    pm=0.1,
    mutation_sigma=0.1,
    tournament_size=3,
    seed=123
):
    rng = np.random.default_rng(seed)

    pop = np.empty((pop_size, 2))
    pop[:, 0] = rng.uniform(x_bounds[0], x_bounds[1],
size=pop_size) # x
    pop[:, 1] = rng.uniform(y_bounds[0], y_bounds[1],
size=pop_size) # y

    def fitness(ind):
        x, y = ind
        value = f(x, y)
        return 1.0 / (1.0 + value)

    def evaluate_population(pop):
        return np.array([fitness(ind) for ind in pop])

    def tournament_select(pop, fit):
        idx = rng.integers(0, len(pop), size=tournament_size)
        best_i = idx[np.argmax(fit[idx])]
        return pop[best_i].copy()

    def crossover(parent1, parent2):
        if rng.random() < pc:
            alpha = rng.random()
            child1 = alpha * parent1 + (1 - alpha) * parent2
            child2 = alpha * parent2 + (1 - alpha) * parent1
        else:
            child1, child2 = parent1.copy(), parent2.copy()
        return child1, child2
```

Листинг Ж.2 — Продолжение листинга Ж.1

```
def mutate(ind):
    for i in range(len(ind)):
        if rng.random() < pm:
            ind[i] += rng.normal(0.0, mutation_sigma)
    ind[0] = np.clip(ind[0], x_bounds[0], x_bounds[1])
    ind[1] = np.clip(ind[1], y_bounds[0], y_bounds[1])
    return ind

best_ind = None
best_fit = -np.inf
for gen in range(n_generations):
    fit = evaluate_population(pop)

    gen_best_i = np.argmax(fit)
    if fit[gen_best_i] > best_fit:
        best_fit = fit[gen_best_i]
        best_ind = pop[gen_best_i].copy()

    print(f"f = {f(best_ind[0], best_ind[1]):.6f} в точке
{best_ind}")

    new_pop = []

    while len(new_pop) < pop_size:
        p1 = tournament_select(pop, fit)
        p2 = tournament_select(pop, fit)

        c1, c2 = crossover(p1, p2)

        c1 = mutate(c1)
        c2 = mutate(c2)

        new_pop.append(c1)
        if len(new_pop) < pop_size:
            new_pop.append(c2)

    pop = np.array(new_pop)

    best_x, best_y = best_ind
    best_value = f(best_x, best_y)
    return best_x, best_y, best_value

if __name__ == "__main__":
    x_opt, y_opt, f_opt = genetic_minimize_beale(
        pop_size=80,
        n_generations=300
    )
    print(f"Результат x = {x_opt:.5f} y = {y_opt:.5f} f =
{f_opt:.8f}")
```